

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ВИЛЬНЮССКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО  
УНИВЕРСИТЕТА им. ГЕДЕМИНАСА  
БЕЛОЦЕРКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (УКРАИНА)  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ г. ЛЕЙРИИ (ПОРТУГАЛИЯ)  
АРИЭЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (ИЗРАИЛЬ)  
ПЕРМСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ (РОССИЯ)  
ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (РОССИЯ)

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:  
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

Электронный сборник статей  
международной научной конференции,  
посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета

(Новополоцк, 5-6 апреля 2018 г.)

Под редакцией  
канд. техн. наук, доцента А. А. Бакатовича;  
канд. техн. наук, доцента Л. М. Парфеновой

Новополоцк  
Полоцкий государственный университет  
2018

*Редакционная коллегия:*

А. А. Бакатович (председатель), Л. М. Парфенова (зам. председателя),  
А. С. Катульская (отв. секретарь), Е. Д. Лазовский,  
Т. И. Королева, В. Е. Овсейчик

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ** [Электронный ресурс] : электронный сборник статей международной научной конференции, посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета, Новополоцк, 5–6 апр. 2018 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. А. А. Бакатовича, Л. М. Парфеновой. – Новополоцк, 2018. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

Рассмотрены вопросы архитектуры и градостроительства в современных условиях, прогрессивные методы проведения инженерных изысканий и расчета строительных конструкций. Приведены результаты исследований ресурсо- и энергосберегающих строительных материалов и технологий, энергоресурсосберегающие и природоохранные инновационные решения в инженерных системах зданий и сооружений. Рассмотрены организационные аспекты строительства и управления недвижимостью, проблемы высшего архитектурного и строительного образования.

Для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов строительных специальностей учреждений образования.

*Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса. Регистрационное свидетельство № 3671815379 от 26.04.2018.*

Компьютерный дизайн К. В. Чулковой, В. А. Крупенина.

Технический редактор О. П. Михайлова.

Компьютерная верстка Т. А. Дарьяновой.

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь  
тел. 8 (0214) 53 53 92, e-mail: a.bakatovich@psu.by; l.parfenova@psu.by

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОТОТИПИРОВАНИЕ КОНЦЕВЫХ ЗАЖИМОВ  
ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ И ПОЛУЧЕНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ  
КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ**

*Д.Н. Шабанов, Е.А. Зябкин*

Полоцкий государственный университет, Беларусь

email: d.shabanov@psu.by, e.zyabkin@psu.by

*Представлена возможность применения методики моделирования и прототипирования для производства концевых зажимов. Данное изделие позволит получить характеристики напряженного и деформированного состояния композитной арматуры периодического профиля. На базе систем автоматизированного проектирования был смоделирован концевой зажим для испытания и получения предварительного напряжения композитной арматуры периодического профиля и создан прототип всей конструкции в целом.*

*Ключевые слова: испытание, напряжение, концевой зажим, моделирование, прототипирование.*

**MODELING AND PROTOTYPING OF THE END LIMPS  
FOR TESTING AND OBTAINING PRELIMINARY VOLTAGE  
OF THE COMPOSITE VALVE**

*D. Shabanov, E. Zyabkin*

Polotsk state University, Belarus

email: d.shabanov@psu.by, e.zyabkin@psu.by

*The article presents the possibility of using the modeling and prototyping techniques for the production of terminal clamps. This product will make it possible to obtain the characteristics of the stressed and strained state of the composite reinforcement of the periodic profile. On the basis of computer-aided design systems, an end clamp for testing and obtaining prestressing of a composite reinforcement of a periodic profile was modeled and a prototype of the entire structure as a whole was created.*

*Keywords: testing, tension, terminal clamp, modeling, prototyping.*

**Введение.** Современные взгляды на использование неметаллической арматуры получили большой резонанс, в сравнении с металлическим армированием. Однако физические и механические свойства композитной арматуры в отдельных параметрах превосходят металлическую. Для расширения применения сложного композитного армирования и детального изучения его совместной работы с бетоном целесообразно продолжить исследования и испытания различных конструкций, а также использование неметаллической арматуры в предварительно напряженных бетонных конструкциях.

Первое, и самое основное, быстрое изготовления прототипов необходимо чтобы посмотреть, как модель будет выглядеть в материале. Кроме того, на готовой модели можно проводить различные тесты еще до того, как будет готов окончательный вариант изделия.

Однако, прототипы – это еще не все. Следующая ступень – быстрое производство. Уже сейчас некоторые технологии позволяют изготавливать готовые предметы из различных материалов. Это идеальное решение для малосерийного производства, поскольку

стандартный техпроцесс дает возможность сделать что угодно за относительно небольшое время, но с высокими затратами на открытие производства.

Нередко требуется подтверждение работоспособности или проверка определенных эксплуатационных характеристик. В таких случаях наиболее простым способом проверки работоспособности и надежности является создание опытных образцов или макетов с последующим испытанием в условиях, приближенных к реальным. [1]

При помощи систем автоматизированного проектирования был смоделирован концевой зажим. Данный зажим используется в устройствах, где необходимо получить значительное усилие зажима или изменить его направление, что позволяет увеличивать и изменять направление передаваемой силы. Чтобы обеспечить сдерживающее усилие, поверхность клина внутри зажима должна создавать необходимое сопротивление на контактной поверхности, возникающее в результате пластической деформации композитной арматуры, когда она перемещается относительно клиньев, что дополняет силу трения.

**Исследовательская часть.** В ходе нашего исследования, мы использовали программный комплекс «ANSYS SpaceClaim» для создания модели концевой зажима. SpaceClaim позволяет не только эффективно подготавливать модели, созданные в сторонних CAD-пакетах, для численного моделирования или 3D-печати, но и создавать модели «с чистого листа». Для этого имеется весь необходимый функционал – модель может создаваться как с использованием твердотельных операций, так и по эскизам.

Разработанное устройство (рис. 1) для испытания композитной арматуры состоит из двух пластин (1), установленных по концам стеклопластиковой арматуры, внутри которых расположены клинья (2), обжимающие стеклопластиковую арматуру (3), исключая возможные возникновения концентраторов напряжений. Особенность конструктивного исполнения устройства состоит в разборности элементов конструкции, что обеспечивает многократность его использования. Задача состоит в снижении затрат на производство цементно-бетонных изделий, армированных композитной арматурой периодического профиля. Использование данного устройства позволяет повысить достоверность полученных результатов при испытании за счет отсутствия разрушения в местах зажима стержней. Кроме того, при помощи разработанного устройства возможно создание предварительного напряжения стеклопластиковой арматуры [2].

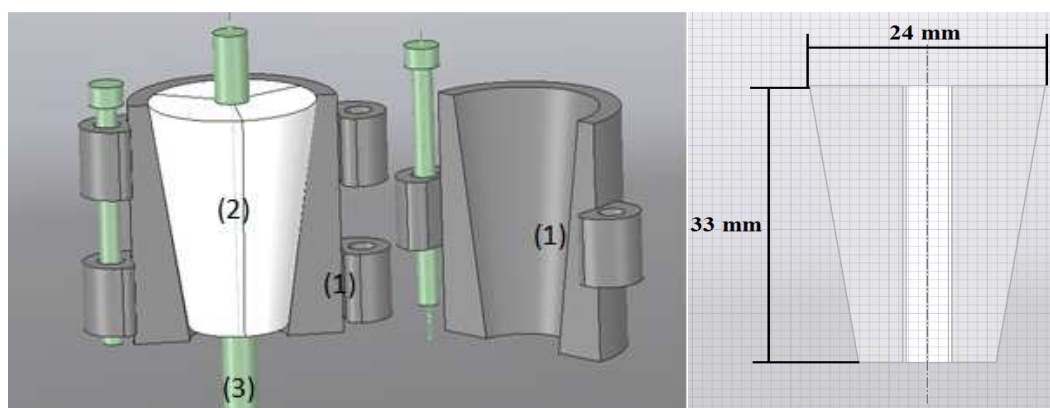


Рисунок 1. –Модель концевых зажимов созданная в программном комплексе ANSYS SpaceClaim

Упругие и пластические аналитические решения. На начальном этапе ( $h \rightarrow 0$ ) вдавливания клиновидного пуансона с плоским основанием можно использовать для решения линейной упругой задачи давления пуансона с прямоугольным основанием на полупространстве [4, 5]:

$$F = \frac{E}{1 - \nu^2} \cdot \frac{\sqrt{wl}}{m} h, \quad (1)$$

где  $E = 210$  ГПа – модуль Юнга;  
 $\nu = 0,3$  – коэффициент Пуассона;  
 $w = 0,024$  м – ширина усеченного клина;  
 $l = 0,033$  м – длина усеченного клинового основания;  
 $m$  – параметр, определяемый как отношение сторон основания (если  $l / w = 1,375$ ,  $m = 0,95$  (рис. 2)).

Уравнение (1) было получено путем обобщения решения задачи Буссинеска на действие нормальной сосредоточенной силы на поверхности упругого полупространства. Следует отметить, что решение (1) получено на основе предположения о бесконечно малой механике, где малые деформации предполагаются и разность между фактическими и эталонными конфигурациями пренебрегают. В этом случае форма поверхности клина не имеет решающего значения, необходимы только размеры усеченных клиновых оснований. Решение справедливо только для очень слабых сил вдавливания и, следовательно, для неглубоких глубин проникновения ( $h \rightarrow 0$ ), когда пластичной зоной и контактом на лицевой стороне клина можно пренебречь. Когда получено решение (1), предполагается, что контактное давление равномерно распределено, не было трения, а  $h$  принималось за среднее значение смещения. Такие условия не имеют решающего значения, так как в отличие от решения для жесткого пуансона (постоянные смещения и переменные контактные давления) составляет около 8% [4].

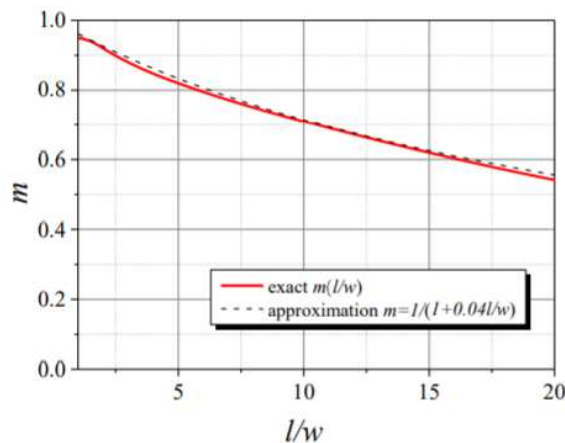


Рисунок 2 [3]. – Параметр  $m$  в уравнении (1) по отношению к базовой стороне  $l / w = 1,375$

$$F = \frac{210 \cdot 10^6}{1 - 0.3^2} \cdot \frac{\sqrt{24 \cdot 33}}{0.95} h = 6836 N.$$

Была предложена упрощенная аналитическая модель для определения силы вдавливания неидеального (усеченного) клинового пуансона с симметрично наклонными сторонами ( $20^\circ$ ).

Следующим этапом стало создание прототипа концевой зажима для испытания и получения предварительного напряженной композитной арматуры периодического профиля (рис. 3).



**Рисунок 3. – Прототип концевого зажима  
для испытания и получения предварительного напряженной композитной арматуры  
периодического профиля**

Технология компьютерного моделирования нашла свое применение для изготовления быстрых прототипов с целью визуализации концептуальных изделий. Физические характеристики изготавливаемых моделей-прототипов являются, пожалуй, основным критерием при выборе метода быстрого прототипирования: они определяют качество модели, а также возможность или невозможность использования прототипа для решения тех или иных задач.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Kim, W. Metal flow in wedge indentation of V- and W-shaped tools / W. Kim, K. Kawai, H. Koyama // Journal of Materials Processing Technology. – 2007. – No. 1(189). – P. 392–400.
2. Шабанов, Д.Н. Метод моделирования и прототипирования как один из наиболее актуальных, объективных и надежных методов научных исследований / Д.Н. Шабанов, Е.А. Зябкин, Е.А. Трамбицкий // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2016. – № 16. – С. 48–54.
3. Effects of blade tip geometry on cutting characteristics of lead alloy sheet subjected to wedge indentation / P. Mitsomwang [et al.] // Key Engineering Materials. – 2017. – Vol. 719. – P. 137–141.
4. Modeling of indentation and slip of wedge punch / A.S. Semenov [et al.] // Magazine of Civil Engineering. – 2017. – No. 6. – P. 78–101.
5. Timoshenko, S.P. Theory of Elasticity / S.P. Timoshenko, J.N. Goodier. – 3 Ed. – McGraw-Hill, New York, 1970. – 519 p.
6. Куликовский, Д.П. BIM-технологии. Опыт внедрения / Д.П. Куликовский // Технологии интеллектуального строительства. – 2015. – № 3.
7. Волкинд, Д. Прямой и обратный инжиниринг с ANSYS SpaceClaim: применение для САМ, САЕ и 3D-сканирования / Д. Волкинд, К. Кравченко, М. Булатов.
8. Куликовский, Д. Повышение рентабельности проектно-строительного производства в условиях применения технологии информационного моделирования (BIM). Новая роль архитектора/проектировщика / Д. Куликовский, А. Паршин // Архитектура и строительство. – 2015. – № 2.
9. Бабичев, С.В. Инженерный анализ средствами T-FLEX / С.В. Бабичев // САПР и графика. – 2016. – декабрь.